Messungen der leichten und mittleren Ionen in Potsdam mit der Benndorfschen Entlademethode

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt von der

Philosophischen Fakultät der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Heinz Sichtermann

aus Samter

Tag der Promotion: 11. 12. 1935

Tag der mündlichen Prüfung: 27. 6. 1935

1935

Druck: Triltsch & Huther, Berlin

474

Referenten: Prof. Dr. K. Kähler

Prof. Dr. H. v. Ficker.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gliederung.

Seite

Einleitung 5

I. Die elektrischen Randstörungen bei Kondensatoren 6
a) Die Wirkung der Randstörungen 6
b) Messungen der Randstörungen 8

II. Die Entlademethode 11
a) Verbesserungen an der Apparatur 11
b) Die Schaltung 12
c) Bemerkungen zur Entlademethode 14

III. Meßergebnisse der leichten und mittleren Ionen 15
a) Vorbemerkungen 15
b) Monatsmittel der leichten und mittleren Ionen 17
c) Vor- und Nachmittagswerte 19
d) Meteorologische Einflüsse 20
1. Relative Feuchtigkeit und Dampfdruck 20
2. Dunst und Nebel 23
3. Luftkörper 25
4. Windrichtung und -stärke 26
e) Leichte und mittlere Ionen und Potentialgefälle 28

Zusammenfassung 30

Einleitung.

Um die Anzahl der stets in der Luft vorhandenen elektrisch geladenen Partikelchen, der Ionen, zu messen, bedient man sich in der Luftelektrizität fast ausschließlich des Zylinderkondensators. Ein die Ionen mit sich führender Luftstrom wird durch den Kondensator gesaugt, zwischen dessen Elektroden sich ein homogenes elektrisches Feld befindet. Je nach ihrem Vorzeichen werden die Ionen an das Außen- oder Innenrohr getrieben; da die eine dieser beiden Elektroden mit einem Elektrometer in Verbindung steht, kann man die Ladung der auf sie gelangenden Ionen messen. Je nach der Geschwindigkeit des Luftstromes und der Stärke des elektrischen Feldes werden alle Ionen bis zu einer bestimmten Beweglichkeitsgrenze hinab abgefangen, von den schwerer beweglichen noch gewisse Bruchteile. Es ist nun theoretisch ganz gleichgültig, ob die das elektrische Feld erzeugende Spannung an die Außen- oder Innenelektrode gelegt wird. In den letzten Jahren hat man fast nur die sogenannte Aufladem ethode oder Außenschaltung verwendet, bei der die Spannung an das Außenrohr gelegt wird, wodurch die Innenelektrode auf ein geringes Potential geladen wird. Die Aufladem ethode hat den großen Vorteil, daß sie eine hohe Empfindlichkeit des Elektrometers einzustellen gestattet, wodurch die Meßzeit erheblich verkürzt werden kann.

Die andere Methode, die man als Entladem ethode oder Innenschaltung bezeichnet, besitzt diesen Vorzug nicht; denn wegen der hohen Spannung, die von Anfang an der Elektrometerfaden und das Innenrohr haben, vermag man nur mit sehr geringen Empfindlichkeiten zu arbeiten. Dies ist hauptsächlich der Grund, der bisher bei den modernen Einfadenelektrometern die Anwendung dieser zweiten Methode verhindert hat.

Nun hat Benndorf[1]) einen Kunstgriff angegeben, mit dessen Hilfe es möglich ist, auch bei der Entladem ethode hohe Empfindlichkeiten zu erreichen: er schlug nämlich vor, das ganze Elektrometergehäuse auf dasselbe Potential zu laden, das die Innenelektrode und der Elektrometerfaden besitzen. Doch dieser Vorschlag wurde bis jetzt noch nicht praktisch ausgeführt, da er als technisch zu schwierig oder als zu unbequem angesehen wurde[2]).

Der Kernpunkt der vorliegenden Arbeit ist es, zu zeigen, daß man mit dieser Benndorfschaltung sehr gut praktisch arbeiten kann, und daß mit ihrer Hilfe brauchbare Ergebnisse erzielt wurden.

---

[1]) H. Israel, Gerl. Beitr. z. Geophys. **31**, 209, 1931.

[2]) Neuerdings ist diese Methode doch angewendet worden, vgl. I. I. und P. I. Nolan, Proc. Roy. Irish Acad. (A) **42**, No. 3, 15, 1935.

I. Die elektrischen Randstörungen bei Kondensatoren.

a) Die Wirkung der Randstörungen.

Neben dem Zweck, die Brauchbarkeit der Benndorfschen Entlademethode zu untersuchen, gab es noch einen anderen Grund, der mich dazu bestimmte, für meine Ionenmessungen gerade diese Methode zu wählen: nämlich der, daß bei Anwendung der Aufladem ethode sich an der Einsaugöffnung eines jeden Kondensators, sofern er keine besondere Schutzvorrichtung hat, ein elektrisches Randfeld bildet, das auf die zu messenden Ionen einen hemmenden Einfluß ausübt und in der Literatur meistens Gegenfeld genannt wird.

Bekanntlich setzen die Formeln, nach denen man die Beweglichkeit und die Anzahl der Ionen berechnet, voraus, daß erstens das Feld im Innern des Kondensators homogen ist und zweitens dieses Feld am Kondensatorrande zu Ende ist. Diese zweite Voraussetzung trifft aber in Wirklichkeit nicht zu. Bei der Aufladem ethode, also geladener Außenelektrode, streuen vielmehr von deren Rande die Kraftlinien auch nach außen, und dadurch muß die Geschwindigkeit gerade derjenigen Ionen, die zur Messung gelangen sollen, herabgemindert werden; die Kraftliniendichte kann unter Umständen so groß werden, daß die Ionen überhaupt nicht in den Meßapparat gelangen. Die Bezeichnung „Gegenfeld" ist daher wohl ohne weiteres verständlich.

Schon Swann[1]) hatte auf das Vorhandensein dieses störenden Randfeldes aufmerksam gemacht und auch gleichzeitig eine Anordnung beschrieben, die den Einfluß des Gegenfeldes beseitigte. Die Swannsche Arbeit geriet jedoch in Vergessenheit, bis Itiwara[2]) das Gegenfeld von neuem entdeckte und experimentell nachwies. Nach ihm beschäftigten sich auch Scholz[3]) und besonders Israel[4]) mit diesem Problem, und beide konnten ebenfalls das Vorhandensein der Randstörung auf verschiedene Weise feststellen. Israel entwickelte sogar eine Methode, die das Gegenfeld auch quantitativ zu erfassen gestattete. Auf die von Israel in fast nur mathematische Form gekleideten Gedankengänge möchte ich hier etwas näher eingehen.

Um das Gegenfeld mathematisch erfassen zu können, benutzte Israel den Kunstgriff, die Randstörung als eine Art Vorkondensator aufzufassen. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß die Beweglichkeitsgrenze, bis zu der der scheinbare Vorkondensator alle Ionen abfängt, abhängig ist von der an den Hauptkondensator angelegten Spannung und weiterhin von der Bauart der Einsaugöffnung. Die Größe des im Vorkondensator herrschenden elektrischen Feldes wird im allgemeinen nur ein Bruchteil des im Meßapparat vorhandenen Feldes sein, während die Durchsauggeschwindigkeit in beiden Kondensatoren dieselbe ist. Da, wie schon erwähnt, die Ionen durch das Gegenfeld in ihrer Geschwindigkeit verzögert werden, muß man also den

[1]) Swann, Terr. Magn. **19**, 171, 1914.
[2]) Itiwara, Phys. Zeitschr. **32**, 97, 1931.
[3]) J. Scholz, Gerl. Beitr. z. Geophys. **29**, 226, 1931.
[4]) H. Israel, Gerl. Beitr. z. Geophys. **31**, 209, 1931.

scheinbaren Vorkondensator als getrennt vom Hauptkondensator annehmen. Der Einfachheit halber wollen wir voraussetzen, daß in der Luft Ionen mit nur einer einzigen Beweglichkeit vorhanden sind, und daß ferner ihre Dichte räumlich und zeitlich konstant bleibt. Ist zunächst die Grenzbeweglichkeit im Meßkondensator höher als die der Ionen, so müßte man, wenn das Gegenfeld nicht da wäre, den Teil der bekannten Strom-Spannungskurve erhalten, den man als den Ohmschen Strom bezeichnet. Bei gleichen Grenzbeweglichkeiten müßte dann die Kurve in den Sättigungsstrom übergehen, der auch bei noch höheren Spannungen konstant bleibt.

Durch den scheinbaren Vorkondensator jedoch wird der Verlauf der Kurve ein anderer. Wir nehmen zunächst wieder an, daß die Grenzbeweglichkeit, bis zu der vom Meßapparat alle Ionen abgefangen werden, höher ist als die der Ionen selbst. Diese müssen beim Passieren des „Vorkondensators", der einen Teil von ihnen abfängt, eine Ablenkung zur Achse hin erfahren; die Folge davon ist, daß sich an der Einsaugöffnung des Hauptkondensators ein ionenfreier Ring ausbilden muß, der mit wachsender Spannung immer breiter wird. Solange nur ein Bruchteil von den in den Meßapparat gelangenden Ionen abgefangen wird, muß die Strom-Spannungskurve identisch mit dem theoretischen Verlauf sein. Wenn aber der ionenfreie Ring so breit geworden ist, daß sämtliche Ionen zur Messung gelangen — die Grenzbeweglichkeit im Hauptkondensator ist dabei noch nicht gleich der Ionenbeweglichkeit geworden — so muß also die Kurve ihren Sättigungswert schon früher erreichen. Wird die Grenzbeweglichkeit im Meßapparat noch kleiner gemacht, so werden zwar auch stets alle Ionen abgefangen, aber gleichzeitig vermindert sich ihre Anzahl infolge des immer stärker werdenden Gegenfeldeinflusses, so daß die Kurve nicht auf ihrem Sättigungspunkte verharrt, sondern sich wieder dem Werte Null nähert. Die Abszisse wird erreicht, wenn die im Vorkondensator herrschende Grenzbeweglichkeit gleich der Ionenbewglichkeit geworden ist, so daß der ionenfreie Ring gleich dem Querschnitt der Einsaugöffnung wird.

Nun ist es aber klar, daß auch bei der Entlademethode am Kondensatorrande ein elektrisches Vorfeld auftritt, das aber ganz andere Wirkungen als das Gegenfeld haben muß. Die Kraftlinien, die in diesem Falle von der geladenen Innenelektrode nach außen streuen, erteilen den zu messenden Ionen schon vor ihrem Eintritt in den Hauptkondensator eine Beschleunigung zur Innenelektrode hin; man kann also, wie es Israel getan hat, die Randstörung als einen Zusatzkondensator auffassen, der mit dem Meßapparat verbunden zu denken ist, oder was auf dasselbe hinauskommt, man kann den Hauptkondensator als verlängert annehmen. Zwar entsteht an seiner Einsaugöffnung mit wachsender Spannung auch wieder ein immer breiter werdender ionenfreier Ring; aber diesmal entsteht kein Verlust an Ionen, da die von dem Zusatzkondensator abgefangenen mitgemessen werden. Die Strom-Spannungskurve hat dem theoretischen Verlauf gegenüber nur den Unterschied, daß der Ohmsche Strom etwas steiler ansteigt und der Sättigungsstrom schon bei einer Grenzbeweglichkeit erreicht wird, die oberhalb der Ionenbeweglichkeit liegt. Bei noch höheren Spannungen bleibt dann der Strom der Abszisse parallel.

Zusammenfassend kann man folgendes feststellen: Wenn man alle Ionen bis zu einer bestimmten Beweglichkeit hinab messen will, so liefert einem die Auflademethode niemals ein richtiges Ergebnis, sondern nur stets einen Teil der zu messenden Ionen; mit Hilfe der Entlademethode dagegen erhält man immer alle Ionen, wobei die Grenzbeweglichkeit im Meßkondensator sogar je nach der Stärke des Zusatzfeldes noch höher sein kann als die Ionenbeweglichkeit. Für Ionenmessungen ist demnach die Entlademethode vorzuziehen.

Die im vorstehenden angestellten Betrachtungen erfahren natürlich gewisse Abänderungen, da ja niemals in der Luft nur Ionen mit einer einzigen Beweglichkeit vorhanden sind, wie ich vorausgesetzt hatte. Ferner muß man sich auch vor Augen halten, daß der Vor- und Zusatzkondensator nichts Reales vorstellen, sondern nur eine Arbeitshypothese sind, mit deren Hilfe sich die Wirkungen der elektrischen Randstörungen einfach und anschaulich darstellen lassen.

b) Messungen der Randstörungen.

Für die Ionenmessungen, die ich mit der Benndorfschen Entlademethode durchgeführt habe, benutzte ich den großen Meßkondensator von Kähler[1]), mit dem bisher nur in Außenschaltung gearbeitet worden war. Es war zunächst nötig zu untersuchen, ob und in welchem Maße sich am Rande dieses Kondensators störende Felder bilden. Der einfachste Weg war der, die Auf- und Entlademethode unter sonst gleichen Umständen miteinander zu vergleichen. Die zutage tretenden Unterschiede sind dann ein Maß für die Wirkungen des Gegen- und Zusatzfeldes.

Auf die Apparatur und die Schaltungsweise wird erst im zweiten Hauptteil eingegangen.

Bei sämtlichen Meßreihen, die durch den Vergleich der beiden Methoden gewonnen wurden, betrug die Grenzbeweglichkeit im Kondensator 0,02 cm/sec/Volt/cm. Die Außen- bzw. Innenelektrode hatte dabei stets das Potential plus bzw. minus 200 Volt, so daß immer nur die positiven Ionen gemessen wurden. Um nach Möglichkeit meteorologische Einflüsse zu eliminieren, wurden die Messungen in der Weise vorgenommen, daß auf zwei oder drei Einzelmessungen mit Außenschaltung ebensoviele mit der Innenschaltung folgten. Die Vergleichsmessungen sind in Tabelle 1 kurz zusammengefaßt. Durch die Indizes A und E wird die Art der Meßmethode gekennzeichnet: A bedeutet die Auf-, E die Entlademethode. In den Spalten 1 und 2 der Tabelle sind die Anzahl der Messungen, in den Spalten 3 und 4 die der Ionen angegeben, die durchschnittlich in ccm mit Hilfe der beiden Methoden gemessen wurden. Spalte 5 endlich bringt das Verhältnis der nach den beiden Methoden gefundenen Ionenwerte. Man erkennt, daß dieser Quotient stets größer als eins ist, d. h. die mit der Entlademethode ermittelten Ionenzahlen sind erheblich größer als die mit der Auflademethode gemessenen. Daraus folgt, daß sich an der Einsaugöffnung des zu den Messungen benutzten großen Kondensators ziemlich starke Randfelder

[1]) K. Kähler, Meteorol. Zeitschr. 1930, S. 57.

ausbilden müssen. Aus der Spalte 5 geht aber ferner hervor, daß die prozentualen Unterschiede nicht konstant sind, sondern bedeutenden Schwankungen unterliegen. Diese lassen sich dadurch erklären, daß in der Atmosphäre immer Ionen der verschiedensten Beweglichkeiten vorhanden sind, und daß weiter ihre Verteilung auf die einzelnen Beweglichkeiten zeitlich oft sehr schnell wechselt. Im Mittel ergibt sich aus den Meßreihen der Tabelle 1, daß bei der Grenzbeweglichkeit 0,02 mit der Auflademethode etwa 27 % Ionen weniger gemessen werden als mit der Entlademethode.

Vergleichsmessungen zwischen der Auf- und Entlademethode.

Tabelle 1.

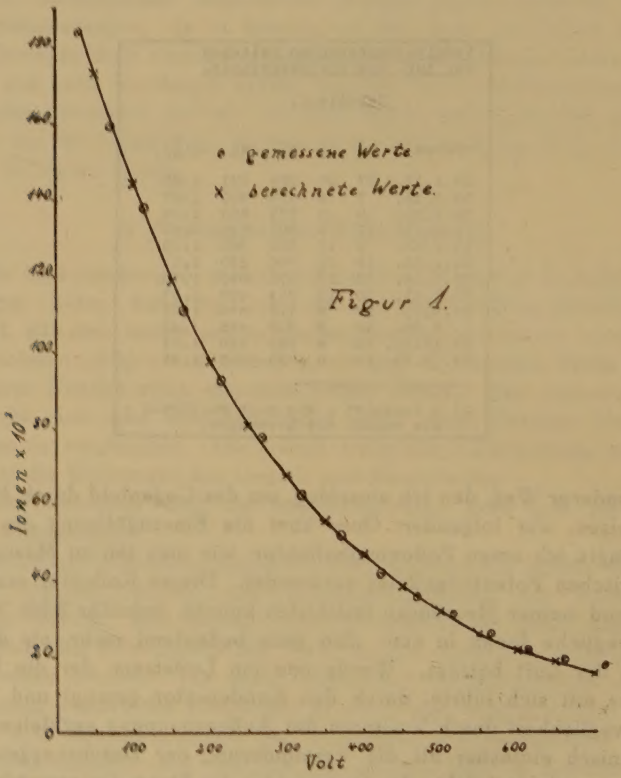
Datum	$Z_A^{1)}$	Z_E	N_A	N_E	$q(\frac{E}{A})$
29.1.33.	27	27	289	537	1,80
30.3.33.	3	6	450	480	1,07
30.3.33.	9	6	775	825	1,06
11.4.33.	12	9	505	845	1,67
12.4.33.	9	12	255	380	1,49
24.4.33.	15	18	750	830	1,11
25.4.33.	15	12	375	670	1,79
25.4.33.	20	18	314	492	1,57
27.4.33.	10	8	715	870	1,21
1. 5.33.	10	8	330	465	1,41
24.12.33.	10	8	590	910	1,54
24.12.33.	10	8	725	1070	1,47

1) Z bedeutet - wie auch weiterhin - die Anzahl der Messungen.

Ein anderer Weg, den ich einschlug, um das Gegenfeld durch Messungen nachzuweisen, war folgender: Quer über die Einsaugöffnung des Kondensators hängte ich einen Polloniumkollektor, wie man ihn zu Messungen des luftelektrischen Potentialgefälles verwendet. Dieser Kollektor erzeugt, wie ich an Hand meiner Messungen feststellen konnte, ungefähr 2 bis $3 \cdot 10^5$ sehr leichtbewegliche Ionen in ccm, also ganz bedeutend mehr, als die Ionendichte in der Luft beträgt. Wurde nun ein Luftstrom, der die Ionen des Kollektors mit sich führte, durch den Kondensator gesaugt und dabei die Grenzbeweglichkeit durch Variieren der Außenspannung verkleinert — dies war technisch einfacher als die Verminderung der Durchsauggeschwindigkeit —, so erreichte infolge des Gegenfeldes die Strom-Spannungskurve sehr bald ihren Sättigungswert, um sich dann wieder der Abszisse zu nähern. Die Messungen wurden in der Weise vorgenommen, daß ich bei verschiedenen Außenspannungen die Zeiten bestimmte, in denen der Elektrometerfaden ein vorgegebenes Intervall durchlaufen hatte, was wegen der sehr großen Ionenzahl außerordentlich schnell geschah, und daraus dann die Anzahl der Ionen berechnete.

Ich möchte es mir hier ersparen, sämtliche Meßreihen zu bringen, da sich immer die gleichen Resultate herausstellten; daher habe ich in der Figur 1 nur eine charakteristische Meßreihe graphisch dargestellt. Auf der Abszisse sind die verschiedenen Spannungen abgetragen, auf der Ordinate die Zahl der Ionen im ccm. Die Tatsache, daß wir bei der Kurve nur den

abfallenden Teil vor uns haben, daß also der Sättigungswert bereits bei geringen Spannungen überschritten ist, beweist wiederum das Vorhandensein des starken Gegenfeldes. Wie ich mich durch einige weitere Messungen überzeugen konnte, liegt der Sättigungswert der in Figur 1 dargestellten Kurve bei etwa 10 Volt Außenspannung und darunter; jedoch war experimentell nicht der Punkt in aller Schärfe zu ermitteln, von dem ab nach beiden Seiten die Kurve sich senkt; vielmehr ergab sich bei diesen



kleinen Spannungen eine unregelmäßig verlaufende Kurve, was darauf zurückzuführen ist, daß der Variationsbereich zwischen 0 und 10 Volt sehr gering ist. Bei der in Figur 1 gezeichneten Kurve hatte die Durchsauggeschwindigkeit den Wert von 1,67 m/sec.

Es läßt sich leicht zeigen, daß alle Meßkurven e-Funktionen sind, aus denen sich aber nicht die absolute Größe des Gegenfeldes berechnen läßt. Aus diesem Grunde habe ich auch hier nicht die Gleichung der dargestellten Kurve angegeben. Um das Gegenfeld quantitativ zu bestimmen, muß man einen Ionenspender haben, der Ionen von nur einer einzigen Beweglichkeit liefert, wodurch die Kurve eine ganz einfache mathematische Form erhält. Der Polloniumkollektor erfüllt diese Bedingung nicht, weil

sich offenbar die Beweglichkeit der neu erzeugten Ionen sehr rasch ändert. Einen geeigneteren Ionenspender fand Israel in dem Nernststift, mit dem er seine Messungen durchführte und daraus das Verhältnis der Grenzbeweglichkeit im Meßkondensator zu der des scheinbaren Vorkondensators bestimmte, das er als Störungsgröße bezeichnete.

II. Die Entlademethode.

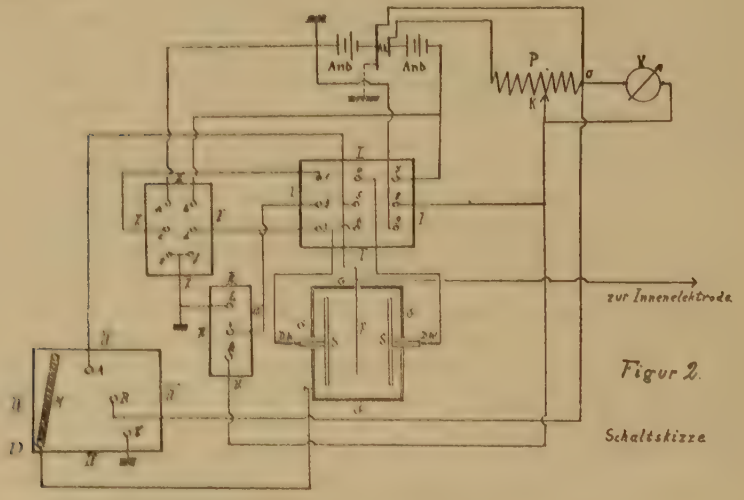
a) Verbesserungen an der Apparatur.

Aus den im vorigen Abschnitt gebrachten Ergebnissen geht hervor, daß die Anwendung der Benndorfschen Entlademethode für Ionenmessungen bei dem von mir verwendeten Apparat unbedingt notwendig ist, um richtigere Werte zu erhalten. Allerdings muß man den Nachteil in Kauf nehmen, daß infolge der Einwirkung des Zusatzfeldes etwas höhere Prozentsätze der schwerbeweglichen Ionen mitgemessen werden als bei der Außenschaltung.

Es erwies sich als notwendig, einige Änderungen und Verbesserungen an dem zu den Messungen benutzten großen Kondensator vorzunehmen. Zunächst wurde der Verbindungsdraht zwischen Innenelektrode und Elektrometerfaden, der einen sehr gewundenen Verlauf hatte und daher durch die entsprechend gebogene elektrostatische Schutzhülle nur sehr schwierig durchzuziehen war, durch einen kurzen geraden Draht ersetzt. Die sich daraus ergebende Kapazitätsänderung wurde mit einem Wulfkondensator ermittelt: für die neue Kapazität ergab sich der Wert von 213 cm. Ferner mußte der alte Erdschlüssel (bei der Entlademethode die Spannungszuführung zur Innenelektrode) umgeändert werden: an der Stelle, wo der Schlüssel durch den elektrostatischen Schutz hindurchgeht, wurde auf den oben erwähnten geraden Verbindungsdraht eine kleine federnde Metallamelle gelötet, auf die man den Metallstift des Erdschlüssels leicht aufsetzen konnte, eine Anordnung, die zufriedenstellend arbeitete. An die Stelle der unförmlichen Gasuhr, die das durch den Kondensator gesaugte Luftquantum nur ungenau anzeigte, und deren Ablesung außerdem unbequem war, trat ein kleines Flügelradanemometer der Firma Fueß, das kurz vorher geeicht war.

Da ich einerseits durch meine Messungen alle Ionen bis zur Grenzbeweglichkeit 0,02 cm/sec/Volt/cm erfassen wollte, andererseits aber nicht allzu hohe Spannungen in Anwendung bringen konnte, mußte die Durchsauggeschwindigkeit möglichst klein gehalten werden. Das zog nun folgenden Übelstand nach sich: das Schmiedefeuergebläse, dessen Tourenzahl durch einen Schiebewiderstand reguliert werden konnte, lief bei geringer Umdrehungszahl sehr ungleichmäßig. Dadurch war aber die im Kondensator herrschende Grenzbeweglichkeit dauernden Schwankungen unterworfen. Es kam nicht selten vor, daß die Durchsauggeschwindigkeit sich innerhalb einer Minute um 50 % des voraufgegangenen Wertes änderte. Diesen Übelstand beseitigte ich auf folgende Weise: Zwischen dem Anemometer und dem

saugenden Elektromotor wurde in den Gang des Luftstromes ein Messingrohr eingefügt, aus dessen Manteloberfläche ein großes rechteckiges Stück herausgeschnitten war. Über dieses Rohr wurde ein zweites geschoben, dessen Mantel die gleiche rechteckige Öffnung aufwies. Durch Drehen des zweiten Rohres um seine Achse konnte man den Spalt des ersten Rohres nach Belieben verkleinern oder vergrößern. Wurde das Gebläse in Gang gesetzt, so saugte es nicht nur Luft durch den Kondensator, sondern auch durch den Spalt. Man konnte also jetzt den Motor auf hohe Tourenzahl stellen und durch entsprechende Vergrößerung des rechteckigen Spaltes dafür sorgen, daß die Durchsauggeschwindigkeit im Kondensator trotzdem gering blieb. Dadurch, daß sich das Einsatzrohr hinter dem Anemometer befand, zeigte dieses nur die durch den Kondensator geströmte Luftmenge an. Bei der hohen Umdrehungszahl lief aber der Motor so gleichmäßig, daß die Änderungen höchstens 2 bis 3 % betrugen, demnach praktisch nicht ins Gewicht fielen.



Figur 2.

Schaltskizze

b) Die Schaltung.

Die benutzte Schaltung ist in Figur 2 skizziert. Das zu den Messungen verwendete Elektrometer war ein Wulfsches Einfadenelektrometer. In der Figur bedeutet G das Gehäuse, F den Faden und S die verstellbaren Schneiden des Instruments. DW sind zwei Dralowidwiderstände von je zwei Megohm, die einen etwaigen Kurzschluß zwischen dem Faden und einer der beiden Schneiden verhindern sollen. Der mit I bezeichnete Schalter ist derart gebaut, daß seine Klemmen 4, 5 und 6 durch Drehen einer Walze entweder mit den Anschlüssen 1, 2, 3 oder 7, 8, 9 gleichzeitig verbunden werden können. In ähnlicher Weise kann man durch einen Umlegehebel die Klemmen c und d des Schalters II mit a bzw. b oder e

bzw. f gleichzeitig in Verbindung bringen. Ebenso wird die Mittelklemme i des Schalters III durch einen Hebel entweder mit h oder k leitend verbunden. Beim Schalter IIII bedeutet M eine mit isoliertem Handgriff versehene Metallschiene, die man um die Klemme D drehen und dadurch mit den Kontakten A, B oder C in Berührung bringen kann. Anb ist eine Anzahl von in Reihe geschalteten Anodenbatterien, in deren Mitte, ebenfalls mit ihnen in Reihe geschaltet, sich ein Akkumulator Ak befindet, der zur Empfindlichkeitsbestimmung dient. P, ist ein Potentiometerwiderstand mit dem Gleitkontakt K, V ein Millivoltmeter.

Bei allen meinen Messungen betrug die an das Gehäuse, den Faden und die Innenelektrode gelegte Spannung plus oder minus 200 Volt. Damit der Faden im Gleichgewicht ist, müssen die zwischen ihm und je einer der beiden Schneiden herrschenden Potentialdifferenzen gleich und entgegengesetzt groß sein. Diese Spannungsunterschiede hatten bei meinem Instrument ebenfalls immer den Wert von 200 Volt, so daß also die eine Schneide das Potential Null, die andere das Potential plus oder minus 400 Volt hatte.

Vor dem Anlegen der einzelnen Spannungen an das Gehäuse, den Faden und die Schneiden haben die Klemmen der vier Schalter in folgender Weise Verbindung miteinander:

Schalter I: 4, 5 und 6 mit bzw. 1, 2 und 3.
Schalter II: c und d mit bzw. e und f.
Schalter III: i mit h.
Schalter IIII: D mit A.

In dieser Stellung sind der Faden nebst Innenelektrode sowie die Schneiden und das Gehäuse auf folgenden Wegen geerdet: Faden und Innenelektrode: 5—2—i—h; linke Schneide: 6—3—d—f; rechte Schneide: 4—1—c—e; Gehäuse: D—A—5—2—i—h. Vor dem Anlegen der Spannungen muß der Schiebekontakt K des Potentiometerwiderstandes auf der mit 0 bezeichneten Stelle stehen. Das gleichzeitige Anlegen der verschiedenen Spannungen geschieht durch eine Drehung der am Schalter I befindlichen Walze, wodurch 4, 5 und 6 mit bzw. 7, 8 und 9 verbunden werden. Die linke Schneide hat dann das Potential Null auf dem Wege 6—9, die rechte erhält den Spannungswert plus 400 Volt auf dem Wege 4—7, während Faden und Innenelektrode über 5—8—K—O (K mit O zusammenfallend) auf plus 200 Volt Spannung aufgeladen werden. Das Gehäuse erhält das Potential des Fadens auf dem Wege D—A—5—8—K—O. Da die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Enden des Potentiometerwiderstandes nur etwa 2 Volt beträgt, kann man durch Verschieben des Kontaktes K die Spannung des Fadens ein wenig variieren und somit die Elektrometerempfindlichkeit bestimmen. Bevor man jedoch daran geht, muß man erst die Klemme D des Schalters IIII mit dem Kontakt B verbinden, da andernfalls sich auch das Potential des Gehäuses um denselben Betrag wie das des Fadens bei Verschiebung von K ändern würde, wodurch die Empfindlichkeitsbestimmung falsch würde. Einige Messungen, bei denen D mit A verbunden blieb, ergaben, daß die so bestimmte Empfindlichkeit nur ungefähr halb so groß ist wie die wahre. Hinsichtlich der Kontakte A und B ist noch folgendes

zu bemerken: sie müssen so nahe beieinander liegen, daß die Schiene M, wenn sie in der Mitte zwischen A und B steht, diese beiden Kontakte gleichzeitig berührt, damit beim Übergange von A nach B in keinem Augenblick die Verbindung zwischen Gehäuse und Spannungsquelle unterbrochen wird, weil sich dies erfahrungsgemäß sonst für den Faden nachteilig auswirken würde. Natürlich darf man, bevor das ganze System durch den Schalter I wieder geerdet wird, nicht vergessen, die Schiene M auf A zurückzudrehen, da sonst Kurzschluß entsteht. Das Elektrometer stand auf Bernsteinklötzen; ebenso mußte auch der ganze Kondensator isoliert aufgestellt werden, da sein unterer Teil durch den elektrostatischen Schutz, der die Zuführung von der Innenelektrode zum Faden umgab, mit dem Elektrometergehäuse leitend verbunden war. Der Apparat stand daher auf Hartgummifüßen.

Die Schaltskizze ist für den Fall gezeichnet, daß die Innenelektrode das Potential plus 200 Volt erhält; soll sie die Spannung minus 200 Volt haben, so braucht man nur die Pole der Batterie zu vertauschen. Zu beachten ist noch dabei, daß die Pole des Millivoltmeters auch vertauscht werden müssen, falls der Zeiger dieses Instrumentes sich nur in einer Richtung bewegen kann.

Um von der Entlademethode auf die Aufladem ethode überzugehen, muß zunächst wieder alles geerdet sein, wie ich es bereits beschrieben habe. Nur das Gehäuse wird über den Weg D—C mit der Erde verbunden. Nachdem noch die Mitte der Batterie (der negative Pol des Akkumulators) geerdet worden ist, wie es in der Skizze gestrichelt angedeutet ist, werden die Klemmen c und d mit a bzw. b verbunden. Die linke Schneide hat dann das Potential plus 200 Volt auf dem Wege 6—3—d—b, die rechte minus 200 Volt über 4—1—c—a. Zur Empfindlichkeitsbestimmung wird i mit k verbunden. Wie die Erfahrung lehrte, war während der Umlegung der Verbindung i—h nach i—k der Faden stets in unruhig zuckender Bewegung; dies ließ sich dadurch vermeiden, daß man vor der Umlegung den Erdschlüssel von der Zuführung zum Faden abhob.

Die Außenelektrode, die während der Entlademethode geerdet ist, wird bei der Außenschaltung durch eine besondere Batterie auf das gewünschte Potential geladen. (Bei Spannungen zwischen plus und minus 200 Volt kann man dabei natürlich auch die in der Skizze gezeichneten Anodenbatterien verwenden.)

c) Bemerkungen zur Entlademethode.

Im folgenden möchte ich über einige Erfahrungen berichten, die ich im Laufe des Meßjahres mit der Entlademethode gemacht habe.

Durch Nähern der Schneiden an den Faden konnte zwar die Empfindlichkeit sehr hoch getrieben werden, doch wurde der Faden dann labil; die Empfindlichkeit, mit der ich stets arbeitete, und bei der man mit einer Minute pro Messung auskam, betrug etwa 90 bis 100 Skalenteile pro Volt. Da man noch ein Zehntel Skalenteil schätzen konnte, vermochte man noch eine Änderung des Potentials der Innenelektrode um ein Tausendstel Volt

zu bestimmen. Leider erwies es sich als notwendig, stets mehrere Empfindlichkeitsbestimmungen vorzunehmen, da die einzelnen Werte selten untereinander genau übereinstimmten: gewöhnlich machte ich vor und nach jeder Ionenmeßreihe einige Empfindlichkeitsbestimmungen, mit deren Mittelwert dann gerechnet wurde.

Ferner war es nötig, vor und nach jeder Einzelmessung der Ionen den Nullpunkt zu bestimmen, da dieser während der Messung sich meist änderte; die Nullpunktswanderung betrug bei der von mir gewählten Empfindlichkeit durchschnittlich fast ein Skalenteil pro Minute, ein Betrag, der etwa 10 bis 20 % des durch die eigentliche Ionenmessung hervorgerufenen Ausschlags ausmacht. Die Nullpunktswanderung wurde bei der Auswertung der Messungen in der Weise berücksichtigt, daß die halbe Differenz der beiden vor und nach der Messung festgestellten Nullpunkte je nach der Richtung der Wanderung zu der Messung zugezählt oder von ihr subtrahiert wurde. Diese Berechnungsweise setzt die Annahme voraus, daß sich während der Messung der Nullpunkt gleichförmig ändert; da die einzelnen Werte einer Meßreihe (unter Berücksichtigung der Nullpunktswanderung) untereinander gut übereinstimmten, obwohl die Nullpunktsverschiebung von Fall zu Fall verschieden war, erscheint die gemachte Voraussetzung als gerechtfertigt.

Die häufige Empfindlichkeitsbestimmung und die Nullpunktswanderung waren die einzigen Mängel, die sich bei der Benndorfschen Entlademethode herausstellten; im übrigen ließ es sich mit dieser Methode gut arbeiten.

Die Entlademethode ist sehr geeignet, wenn es sich um Messungen von Ionen bis zu einer bestimmten Beweglichkeitsgrenze hinab handelt, wenn also die Spannung der Innenelektrode konstant bleibt; weniger praktisch ist sie, falls es sich um Beweglichkeitsmessungen handelt, bei denen die angelegten Spannungen oft variiert werden müssen; denn in diesem Falle müßten auch immer noch die Schneidenpotentiale geändert werden, was natürlich ziemlich umständlich ist, die Auflademethode ist darin bequemer.

Nach meinen Erfahrungen bin ich überzeugt, daß man an die Innenelektrode noch höhere Spannungen als 200 Volt legen kann, daß aber die praktische Grenze bei vielleicht 500 Volt liegt. Darüber hinaus dürfte der Faden allzu labil werden. Mit entsprechend gebauten Kondensatoren könnte man noch wesentlich niedrigere Grenzbeweglichkeiten erreichen als 0,02, wozu allerdings der von mir verwendete Apparat infolge seiner Dimensionen nicht sehr geeignet war. Zusammenfassend kann man sagen, daß die Benndorfsche Entlademethode sich besonders zur Messung der leichten und mittleren Ionen eignet.

III. Meßergebnisse der leichten und mittleren Ionen.

a) Vorbemerkungen.

Die Messungen wurden ausgeführt in der Zeit von Anfang August 1932 bis Ende August 1933. Es wurde stets bis zur Grenzbeweglichkeit 0.02 cm/sec/Volt/cm gemessen, also immer die Summe der leichten und mittleren Ionen festgestellt.

Die Hauptmessung erfolgte meistens in der Zeit zwischen 10 und 11 Uhr. Zweimal in der Woche (Mittwoch und Donnerstag) wurden auch nachmittags Messungen vorgenommen und zwar gewöhnlich zwischen 15 und 16 Uhr.

Die Gesamtzahl der Meßreihen beträgt 242, von denen 168 auf den Vormittag und 74 auf den Nachmittag entfallen. Sie verteilen sich ziemlich

Messungen der leichten und mittleren Ionen.

Tabelle 2.

August 1932.				September 1932.				Oktober 1932.			
Dat.	n_+	n_-	$q(\pm)$	Dat.	n_+	n_-	$q(\pm)$	Dat.	n_+	n_-	$q(\pm)$
4.	620	680	0,91	1.	605	570	1,06	5.	2160	2130	1,02
5.	415	490	0,84		575	505	1,13		765	760	1,00
	660	430	1,53	5.	995	900	1,10	6.	460.	655	0,70
6.	690	670	1,03	7.	1990	1905	1,05		545	475	1,14
10.	615	525	1,17		1080	965	1,12	12.	980	845	1,16
17.	410	305	1,35	10.	410	445	0,92		825	665	1,24
	635	500	1,27	13.	1275	1175	1,08	13.	565	500	1,13
18.	665	675	0,98	14.	1780	1845	0,97		725	680	1,07
22.p	425	440	0,97		705	555	1,27	15.	890	760	1,17
24.	1360	1240	1,10	15.	1400	1235	1,14	18.	1025	1070	0,96
	955	645	1,48		505	405	1,25	19.	890	750	1,19
25.	1190	1250	0,95	16.	460	480	0,96		800	660	1,21
	560	460	1,22	19.	830	740	1,12	20.	595	540	1,10
31.	640	625	1,03	20.	1170	1200	0,98	22.	370	435	0,90
	530	460	1,16	22.	1430	1370	1,04	24.	785	800	0,98
					1020	795	1,28	27.	645	635	1,01
				26.	1265	1150	1,10		445	440	1,01
				28.	520	465	1,12	28.	500	440	1,13
					885	765	1,16				
				29.p	1350	1265	1,07				

November 1932.				Dezember 1932.				Januar 1933.			
Dat.	n_+	n_-	$q(\pm)$	Dat.	n_+	n_-	$q(\pm)$	Dat.	n_+	n_-	$q(\pm)$
4.	750	745	1,01	1.	515	410	1,26	3.	590	590	1,00
8.	600	530	1,13		565	460	1,23	4.	925	1010	0,92
9.	625	725	0,87	2.	645	600	1,07	5.	405	375	1,09
	560	595	0,94	3.	480	440	1,08		545	600	0,90
10.	525	515	1,02	5.	465	400	1,16	10.	1030	1030	1,00
	940	885	1,06	6.	450	400	1,13	11.	350	345	1,01
11.	505	485	1,04	7.	815	610	1,33		430	310	1,39
12.	550	600	0,92	8.	580	635	0,91	12.	480	385	1,24
14.	630	660	0,96		720	675	1,07		590	610	0,97
15.	835	720	1,16	10.	565	475	1,19	13.	480	370	1,30
17.	570	560	1,02	12.	735	660	1,12	14.	600	475	1,24
	1390	1105	1,26	13.	1000	885	1,13	16.	450	405	1,11
29.	760	540	1,41	14.	610	650	0,94	18.	485	540	0,89
30.	340	305	1,12		675	720	0,94		385	450	0,85
	415	395	1,06	15.	510	445	1,16	19.	460	530	0,86
					670	830	0,81		290	360	0,80
				19.	630	640	0,98	20.	285	390	0,72
				20.	695	685	1,02	23.	330	370	0,89
				21.	445	445	1,00	24.	425	455	0,93
					380	600	0,64	25.	655	675	0,97
				22.	470	565	0,83		500	650	0,78
					355	250	1,48	26.	470	485	0,97
				23.	385	125	3,11		535	730	0,73
								27.	460	410	1,12
								28.	475	380	1,25

gleichmäßig auf die einzelnen Monate, nur im Februar trat eine längere Unterbrechung ein, weil in diesem Monat die Schaltung vollkommen auseinandergenommen werden mußte und in der bereits beschriebenen Weise neu aufgebaut wurde.

Jede Meßreihe ging so vor sich, daß auf 2 oder 3 Einzelmessungen der positiven (negativen) Ionen ebensoviele der negativen (positiven) folgten,

worauf die positiven (negativen) Ionen nochmals zwei- bis dreimal gemessen wurden. Obwohl bei der hohen Empfindlichkeit für die Einzelmessung eine Minute Meßzeit völlig ausreichte — manchmal genügte sogar schon eine halbe Minute — dauerte wegen der vielen Empfindlichkeitsbestimmungen eine Meßreihe doch etwa 25 Minuten.

Februar 1933.				März 1933.				April 1933.			
Dat.	$n_+ + \nu_+$	$n_- + \nu_-$	$q(\pm)$	Dat.	$n_+ + \nu_+$	$n_- + \nu_-$	$q(\pm)$	Dat.	$n_+ + \nu_+$	$n_- + \nu_-$	$q(\pm)$
1.	580	495	1,20	1.	970	870	1,11	5.	1350	1480	0,91
	440	255	1,70		870	880	0,98	6.	1100	850	1,31
27.	580	505	1,15	2.	670	660	1,02		850	805	1,05
28.	385	390	0,98		795	625	1,27	7.	830	910	0,91
				10.	450	350	1,29	11.	560	355	1,58
	Mai 1933.			14.	995	975	1,02	12.	435	375	1,16
				15.	450	390	1,16		460	495	0,94
Dat.	$n_+ + \nu_+$	$n_- + \nu_-$	$q(\pm)$	16.	935	830	1,12	13.	1330	1380	0,97
					965	965	1,00		745	730	1,03
3.	590	570	1,04	17.	825	840	0,99	19.p	1360	760	1,79
	560	440	1,28	18.	1295	1360	0,95	22.	1080	900	1,20
4.	1400	1300	1,08	20.	1600	1500	1,07	24.	1050	1000	1,05
	625	615	1,02	22.	670	645	1,04	26.	1210	1080	1,12
5.	1150	1120	1,02		765	795	0,96		785	730	1,08
6.p	475	520	0,91	23.	785	670	1,16	27.	1360	1300	1,05
9.	430	430	1,00		920	870	1,06		745	695	1,07
10.	410	515	0,80	24.	605	520	1,16	28.	780	750	1,04
11.	740	730	1,01	27.	775	740	1,05	29.	1240	1120	1,11
	515	485	1,03	28.	1330	1190	1,12				
13.	380	320	1,20	29.	755	715	1,05				
18.	655	615	1,06	30.	495	450	1,09				
24.	1080	950	1,14	31.	465	485	0,96				
	510	430	1,18								
28.	430	485	0,90								

Juni 1933.				Juli 1933.				August 1933.			
Dat.	$n_+ + \nu_+$	$n_- + \nu_-$	$q(\pm)$	Dat.	$n_+ + \nu_+$	$n_- + \nu_-$	$q(\pm)$	Dat.	$n_+ + \nu_+$	$n_- + \nu_-$	$q(\pm)$
1.	395	380	1,04	1.	895	730	1,23	3.	340	270	1,26
	450	420	1,06	4.	605	680	0,89	5.	655	840	0,78
2.	725	900	0,82	5.	605	515	1,18	8.	325	290	1,11
7.	1420	1010	1,40		450	320	1,37	9.	640	665	0,96
	790	615	1,29	6.	760	675	1,12		550	515	1,07
8.	1650	1180	1,40		820	645	1,28	10.	360	395	0,91
	900	650	1,38	7.	990	840	1,18		325	330	0,99
9.	945	705	1,34	8.	465	400	1,16	11.	1190	1100	1,08
14.	465	475	0,98	13.	720	600	1,19	12.	1020	990	1,02
15.	860	820	1,04		645	625	1,03	15.	1120	940	1,08
	655	595	1,05	15.	870	760	1,14	16.	310	255	1,20
16.	740	735	1,01	19.	420	400	1,04		645	595	1,08
17.	635	585	1,09		320	255	1,25	18.	840	810	1,03
20.	795	765	1,04	20.	485	430	1,13	19.	680	670	1,01
21.	690	680	1,01		395	365	1,09	22.	930	885	1,05
	405	360	1,16	21.	335	295	1,14	23.	670	700	0,97
22.	460	415	1,10	25.	515	535	0,96		400	345	1,16
	330	305	1,09	26.	275	250	1,09	26.	445	415	1,06
28.	625	690	0,91		320	265	1,19	28.	755	745	1,01
29.	1080	775	1,40	27.	410	425	0,97	30.	1170	1130	1,04
	570	475	1,20		355	315	1,12		640	605	1,05
30.	535	505	1,06	28.	590	525	1,12	31.	755	670	1,12
									465	465	1,00

b) Monatsmittel der leichten und mittleren Ionen.

Tabelle 2 bringt die Meßergebnisse. In Spalte 2 der Tabelle sind die Summen der positiven ($n_+ + \nu_+$), in Spalte 3 die der negativen ($n_- + \nu_-$) leichten und mittleren Ionen angegeben, während in Spalte 4 der Quotient q $\left(\frac{n_+ + \nu_+}{n_- + \nu_-}\right)$ gebildet ist. An den Tagen, an denen vor- und nachmittags

gemessen wurde, bezeichnet stets der zweite Wert die Nachmittagsmessung. Ein hinter dem Datum stehendes p bedeutet, daß an diesem Tage nur eine Nachmittagsmessung vorgenommen werden konnte, während die Vormittagsmessung infolge schlechter Witterung (besonders Regen) ausfallen mußte. Aus der Tabelle geht hervor, daß die Summe der leichten und mittleren Ionen im Laufe des Meßjahres und auch oft innerhalb der einzelnen Monate selbst erheblichen Schwankungen unterliegt. Das absolute Maximum der positiven Ionen beträgt 2160 (5. Okt. 32), das der negativen 2130 (5. Okt. 32). Als absolutes Minimum ergibt sich für die positiven leichten und mittleren Ionen der Wert von 275 (20. Juli 33), für die negativen die Zahl von 125 im ccm (23. Dez. 32). Die Amplitude hat demnach den Wert von rund 2000. Ferner erkennt man aus der Tabelle, daß die Anzahl der positiven Ionen meistens größer ist als die der negativen, doch sind die Unterschiede gewöhnlich nicht sehr bedeutend.

Monatsmittel der leichten und mittleren Ionen.

Tabelle 3.

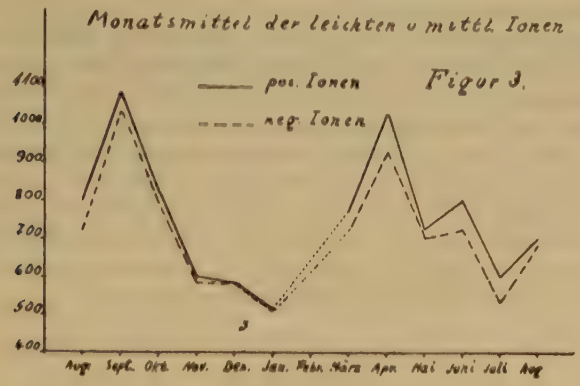
Monat	Z	$n_+ + n'_+$	$n_- + n'_-$	$q(\frac{+}{-})$
Aug. 32.	9	798	723	1,10
Sept. "	13	1080	1030	1,05
Okt. "	12	820	794	1,03
Nov. "	11	599	583	1,03
Dez. "	17	586	585	1,00
Jan. 33.	18	518	511	1,01
Febr. "	-	-	-	-
März "	16	778	724	1,07
Apr. "	12	1030	926	1,11
Mai "	10	731	704	1,04
Juni "	15	800	726	1,10
Juli "	15	605	535	1,13
Aug. "	17	707	687	1,03
Jahr	165	750	710	1,06

In der Tabelle 3 sind die Monatsmittel dargestellt, zu deren Berechnung aber nur die Vormittagsmessungen herangezogen worden sind. Figur 3 bringt die Tabelle noch einmal in graphischer Darstellung. Da im Februar fast gar keine Messungen gemacht werden konnten, ist der Mittelwert dieses Monats interpoliert worden, was ich in dem Kurvenzuge durch Punktierung angedeutet habe.

Der Jahresmittelwert von über 700 Ionen im ccm Luft und auch die einzelnen Monatsmittelwerte, die nicht unter 500 liegen, zeigen, daß immer in der Atmosphäre mittlere Ionen vorhanden sind; denn die Anzahl der Leichtionen ist in Potsdam meist erheblich geringer.

Aus der Figur 3 ersieht man, daß die Summe der leichten und mittleren Ionen im Verlaufe eines Jahres im allgemeinen die Form einer doppelperiodischen Schwankung aufweist. Im September und April haben wir die beiden Maxima, im Januar und Juli die Minima. Daneben ist noch im Juni ein sekundäres Maximum zu erkennen. Faßt man die einzelnen Monate nach Jahreszeiten zusammen (vgl. Tabelle 3a), so ergibt es sich, daß im Frühling (März—Mai) und Herbst (Sept.—Nov.) die Zahl der leichten und

mittleren Ionen am größten ist, während sie im Sommer (Juni—Aug.) und Winter (Dez.—Jan.) wesentlich geringer ist, wobei der Winter die kleinste Anzahl zu verzeichnen hat.



Jahreszeitliche Mittel der leichten und mittleren Ionen.

Tabelle 3a.

Jahresz.	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
$n_+ + \nu_+$	845	727	850	550

Die Jahreskurven der positiven und negativen Ionen verlaufen im großen und ganzen einander parallel. In fast allen Monaten ist die Zahl der positiven Ionen durchschnittlich etwas größer als die der negativen, nur in den Wintermonaten sind die Mittelwerte der beiden Ionenarten einander gleich. Die Fälle, bei denen die Zahl der negativen Ionen die der positiven überwiegt, scheinen vorwiegend mit dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft zusammenzuhängen: denn nach meinen Untersuchungen war dann meistens die relative Feuchtigkeit verhältnismäßig hoch, und ferner herrschte an solchen Tagen ungleich häufiger Nebel als an den Tagen, an denen der Quotient q größer als eins war. Ein gutes Beispiel hierfür ist der feuchte und an Nebeltagen reiche Januar, in dem in 56 % aller Fälle die negativen leichten und mittleren Ionen zahlenmäßig die positiven überwogen. Es handelt sich wahrscheinlich hierbei um Vorgänge, wie sie in ähnlicher Weise bei Landregen auftreten.

Auf die Faktoren, die den jährlichen Verlauf der Ionenzahl bedingen, gehe ich erst bei der Besprechung des Zusammenhanges zwischen leichten und mittleren Ionen einerseits und den meteorologischen Elementen andererseits ein.

c) Vor- und Nachmittagswerte.

Der Vergleich zwischen den Vor- und Nachmittagswerten ist in Tabelle 4 dargestellt worden. Aus Spalte I, in der alle Doppelmeßreihen

berücksichtigt sind, geht hervor, daß im Durchschnitt die Anzahl der leichten und mittleren Ionen vormittags um etwa 25 % größer ist als am Nachmittag. Bei der Berechnung der in Spalte I angegebenen Mittelwerte stellte es sich nun heraus, daß der Unterschied zwischen den vor- und nachmittags gemessenen Ionenzahlen besonders dann sehr groß war, wenn der Vormittagswert größer als 1000 war. Diese untere Grenze ließ sich mit ziemlicher Schärfe feststellen. Aus Spalte II, in der alle diese Fälle zusammengefaßt sind, erkennt man, daß die Vormittagswerte im Mittel fast doppelt so groß sind wie die am Nachmittag gemessenen. (Ein einziges Mal nur war der Nachmittagswert mehr als doppelt so hoch wie der Vormittagswert.) Obwohl die Zahl dieser Fälle nur 18 beträgt, so läßt sich dennoch auf sie allein die in Spalte I hervortretende 25prozentige Differenz zurückführen: denn berücksichtigt man die in Spalte II zusammengefaßten Meßreihen nicht, wie ich es in Spalte III getan habe, so ergibt es sich, daß im Mittel vor- und nachmittags gleich viel Ionen vorhanden sind.

Leichte und mittlere Ionen vor- und nachmittags.

Tabelle 4.

		I	Z	II	Z	III	Z
$n_+ + \nu_+$	vorm.	781	69	1370	18	572	52
	nachm.	625	69	786	18	568	52
$n_- + \nu_-$	vorm.	734	69	1250	18	550	52
	nachm.	577	69	669	18	534	52

Es ist schwer zu sagen, welches die Ursachen sind, die die großen Unterschiede innerhalb der Spalte II bedingen. Der Versuch, irgend ein meteorologisches Element dafür aufzufinden, führte zu keinem Ergebnis. Ich konnte lediglich feststellen, daß bei den Messungen der Spalte II die relative Feuchtigkeit durchschnittlich um 12 bis 15 % niedriger war als bei denen der Spalte III, und daß ferner die 17 Tage völlig dunst- und nebelfrei waren, wodurch sich zum größten Teil die Unterschiede zwischen den beiden Spalten selbst erklären. Möglicherweise ist die große Differenz zwischen den Vor- und Nachmittagswerten der Spalte II auf einen Einfluß der Sonnenstrahlung zurückzuführen.

d) Meteorologische Einflüsse.

1. Relative Feuchtigkeit und Dampfdruck.

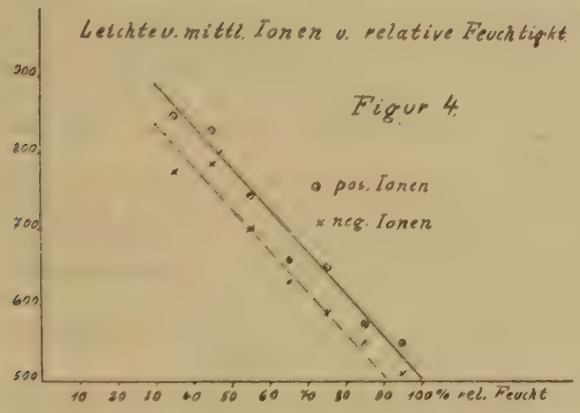
Wie aus Tabelle 5 hervorgeht, besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen der relativen Feuchtigkeit und der Summe der leichten und mittleren Ionen. (Die Feuchtigkeitswerte wurden dem auf der Beobach-

Leichte und mittlere Ionen und relative Feuchtigkeit.

Tabelle 5.

Prozent:	100—91	90—81	80—71	70—61	60—51	50—41	40—21
$n_+ + \nu_+$	550	575	650	660	745	830	850
$n_- + \nu_-$	510	550	590	630	700	785	775
Z	20	28	32	48	45	31	38

tungswiese aufgestellten Hygrographen entnommen.) Mit abnehmender relativer Feuchtigkeit nimmt die Anzahl der leicht- und mittelbeweglichen Träger zu. Ein Blick auf die graphische Darstellung der Tabelle (Figur 4) zeigt, daß die Änderung der positiven und negativen Ionen parallel verläuft, und daß sie ferner im großen und ganzen linear vor sich geht. Der Quotient d(n + ν)/df (f = relative Feuchtigkeit) ist demnach eine Konstante und hat bei der Grenzbeweglichkeit 0,02 etwa den Wert 5, d. h. bei einer Änderung der relativen Feuchtigkeit um 10 % vermehrt bzw. vermindert sich die Zahl der leichten und mittleren Ionen um rund 50 im ccm.



Die Abnahme der Träger höherer und mittlerer Beweglichkeiten bei Zunahme der relativen Feuchtigkeit läßt sich auf folgende Weise erklären:

Hat eine bestimmte Luftmenge den Wasserdampfgehalt e, so wird sich ein Teil der Waserdampfmoleküle an den in der Luft vorhandenen hygroskopischen Kondensationskernen anlagern. Da andererseits die Wasserdampfmoleküle das Bestreben haben, sich von den Kernen loszulösen, d. h. zu verdampfen, muß sich ein Zustand herausbilden, in dem sich Hygroskopizität und Verdampfung das Gleichgewicht halten. Dieser Gleichgewichtszustand ist aber von der Temperatur der Luftmasse abhängig. Sinkt die Temperatur, d. h. steigt die relative Feuchtigkeit, so wird die Verdampfung geringer, die Zahl der sich an die Kondensationskerne lagernden Moleküle muß demnach steigen. Dadurch sinkt aber die Menge der in der Luft frei schwebenden — nicht an die Kondensationskerne gebundenen — Wasserdampfmoleküle, so daß sich bald ein neuer Gleichgewichtszustand bildet, bei dem die Wasserdampfhülle um jeden Kern größer geworden ist. Im Sättigungszustand ist schließlich die Verdampfung gleich Null.

Nimmt man nun an, daß die Ionen mittlerer und höherer Beweglichkeit ihrer Natur nach elektrisch geladene Gasmoleküle oder Molekülkomplexe sind, so ist die Erklärung des Zusammenhanges zwischen leichten und mittleren Ionen und der relativen Feuchtigkeit sehr einfach: Da auch ein Teil der Wasserdampfmoleküle elektrisch geladen ist, so wird ein Teil der

leichtbeweglichen Ionen bei höherer relativer Feuchtigkeit sich durch die Anlagerung an die hygroskopischen Kerne in schwerbewegliche Träger verwandeln müssen. Im Sättigungszustand hat die Zahl der Leichtionen ein Minimum erreicht. Welche Rolle die mittelbeweglichen Träger dabei spielen, kann man natürlich aus der Tabelle nicht mit Sicherheit entscheiden. Einerseits können es elektrisch geladene Molekülkomplexe sein, die sich dann ebenso verhalten müssen wie die leichtbeweglichen Träger. Andererseits können es aber auch schon besonders kleine Kondensationskerne sein, die sich mit einer Wasserdampfhülle umgeben, so daß also die mittelbeweglichen durch Anlagerung von leichten Ionen entstehen. Die in der Tabelle wiedergegebenen Werte müssen sich in diesem Falle aus zwei einander entgegenwirkenden Komponenten zusammensetzen, von denen aber die eine — die leichten Ionen — die andere überwiegt. Diese zweite Annahme scheint mir die wahrscheinlichere zu sein, weil die Abnahme der leichten und mittleren Ionen bei 10 % Zunahme der relativen Feuchtigkeit ziemlich gering ist.

Aus den voraufgegangenen Betrachtungen muß man übrigens auch den Schluß ziehen, daß die schwerbeweglichen Träger nicht immer nur ein einziges elektrisches Elementarquantum haben, sondern auch mehrere. Sehr groß wird allerdings die Zahl der auf einem schwerbeweglichen Ion sitzenden Elementarladungen nicht werden können, da sich ja sowohl positiv als auch negativ geladene Wasserdampfmoleküle an die Kerne anlagern, wobei der größte Teil der Ladungen sich neutralisiert.

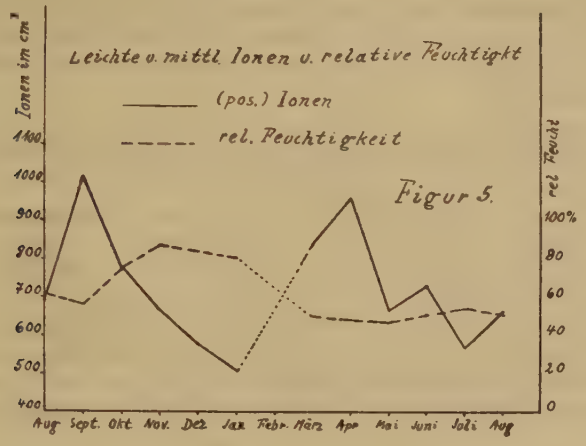
Aus dem oben Gesagten geht weiterhin hervor, daß eine eindeutige Abhängigkeit zwischen leichten und mittleren Ionen und dem Dampfdruck oder der absoluten Feuchtigkeit nicht besteht; denn das Vorhandensein von leichtbeweglichen Trägern ist ja nicht an die Existenz von Wasserdampfmolekülen gebunden, vielmehr sind auch Luftmoleküle Träger von Elementarladungen. Verdampft also in einer Luftmenge Wasser, wobei aber die relative Feuchtigkeit durch entsprechende Temperaturerhöhung konstant bleibt, so übernimmt zwar ein Teil der Wasserdampfmoleküle elektrische Elementarladungen, die Anzahl der Leichtionen bleibt jedoch dieselbe.

Wie die Untersuchung des Zusammenhanges der Ionen mit dem Dampfdrucke zeigte, ergab sich keine eindeutige Abhängigkeit, vielmehr nahm die Anzahl der Ionen bei steigendem Dampfdruck teils zu, teils nahm sie ab.

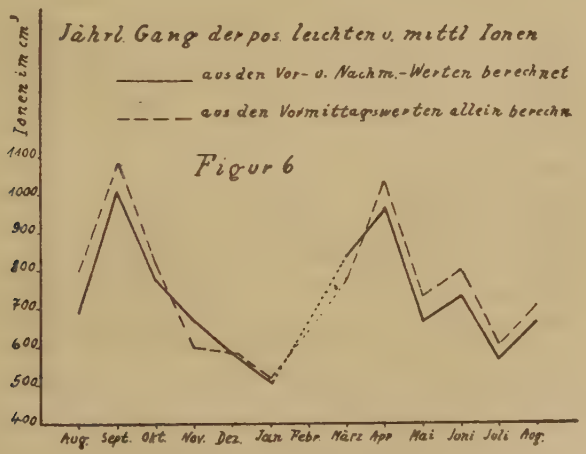
Zum Teil läßt sich der jährliche Gang der leichten und mittleren Ionen auf den der relativen Feuchtigkeit zurückführen. In der Figur 5 habe ich — wie auch weiterhin — abgesehen von der Feuchtigkeitskurve, nur den Jahresverlauf der positiven Ionen gezeichnet, weil die Kurve der negativen im allgemeinen parallel verläuft. Hinzuzufügen ist noch, daß, um alles Material zu verwerten, zur Berechnung der in Fig. 5 dargestellten Ionenkurve auch die Nachmittagsmessungen verwendet worden sind. Aus Fig. 6 erkennt man, daß die so gefundene Kurve von dem in Fig. 3 gezeichneten Verlauf nur unwesentlich abweicht.

Aus Figur 5 geht hervor, daß der Verlauf der Feuchtigkeits- und der Ionenkurve im großen und ganzen invers ist. Im September entspricht dem

Ionenmaximum ein Feuchtigkeitsminimum, während in den Wintermonaten, in denen die Zahl der Ionen am geringsten ist, die relative Feuchtigkeit ihre höchsten Werte erreicht. In den Frühlingsmonaten, in denen wir wieder ein Ionenmaximum haben, ist der Feuchtigkeitsgehalt durchschnittlich gering, um dann im Sommer etwas anzusteigen, während gleichzeitig die Ionenzahl im allgemeinen sinkt.



Daß der Verlauf der beiden Kurven nicht im einzelnen spiegelbildlich ist, liegt daran, daß noch andere Einflüsse den jährlichen Gang der Ionen bedingen.



2. Dunst und Nebel.

In Tabelle 6 sind die Jahresmittelwerte der Ionen berechnet, die sich ergeben, wenn man nur die Messungen an Dunst- und Nebeltagen berück-

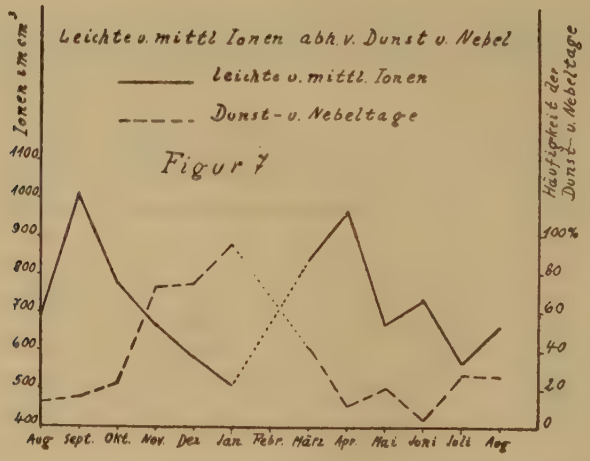
sichtigt. Diese Werte liegen erheblich unter dem aus sämtlichen Messungen sich ergebenden Jahresmittel, das für die positiven Ionen etwa 720 im ccm beträgt. An dunstigen Tagen ist also die Zahl der positiven Ionen durchschnittlich um rund 20 % kleiner als der Jahresmittelwert, an Tagen mit Nebel sogar um 28 %. Gleiches gilt für die negativen Ionen. Das beste Beispiel für die Wirkung des Dunstes bietet der Juli: während die ersten 20 Tage dieses Monats völlig klar waren, herrschte an den letzten 10 Tagen leichter und mäßiger Dunst. Infolgedessen verringerte sich die Summe der (positiven) leichten und mittleren Ionen, die in den beiden ersten Dritteln des Juli den Mittelwert von 630 erreicht hatte, im letzten Drittel auf nur 400 im Durchschnitt.

Mittelwerte der leichten und mittleren Ionen bei Dunst und Nebel.

Tabelle 6.

	Dunst	Z	Nebel	Z	(Jahresmittel)
$n_+ + \nu_+$	576	67	517	24	(720)
$n_- + \nu_-$	552	67	507	24	(670)

Die Erklärung für diese Vorgänge liegt darin, daß durch den Nebel und den Dunst die Luft in reicherem Maße als gewöhnlich mit schwerbeweglichen Partikeln angefüllt wird, wodurch ein Teil der Leicht- und Mittelionen sich durch Anlagerung an diese in schwere Träger verwandelt.



Sehr deutlich kommt auch der Zusammenhang zum Ausdruck, der zwischen dem jährlichen Gang der Ionen und der Häufigkeit der Dunst- und Nebeltage besteht. In Figur 7 ist neben der Ionenkurve (aus Vor- und Nachmittagswerten berechnet, vgl. S. 22) die prozentuale Häufigkeit der Tage mit Dunst und Nebel graphisch dargestellt. Die Häufigkeitswerte sind in der Weise berechnet worden, daß für jeden Monat die Anzahl der an

Dunst- und Nebeltagen vorgenommenen Meßreihen durch die Zahl aller Meßreihen dividiert und der Quotient in Prozenten ausgedrückt wurde. Man erkennt wieder sehr gut den spiegelbildlichen Verlauf der beiden Kurven. Den beiden Ionenmaxima im September und April entsprechen Häufigkeitsminima an Dunsttagen, während die Wintermonate, besonders der Januar, reich an Dunst- und Nebeltagen sind, wodurch die Ionenwerte erheblich verringert werden. Wie eng der Zusammenhang ist, geht auch daraus hervor, daß dem sekundären Ionenmaximum im Juni ein Häufigkeitsminimum der Dunsttage entspricht.

3. Luftkörper.

Um die Beziehungen zwischen leichten und mittleren Ionen und den verschiedenen Luftkörpern zu untersuchen, legte ich mir zunächst auf Grund des von Lincke und Dinies[1]) entwickelten Schemas einen Luftkörperkalender an. Als Grundlage hierfür benutzte ich die Berliner Wetterkarten sowie die Potsdamer Registrierungen der in Frage kommenden meteorologischen Elemente. Da die Bestimmung der Luftkörper manchmal sehr schwierig war oder mehrere Ansichten zuließ, trägt die folgende Untersuchung ein mehr subjektives Gepräge.

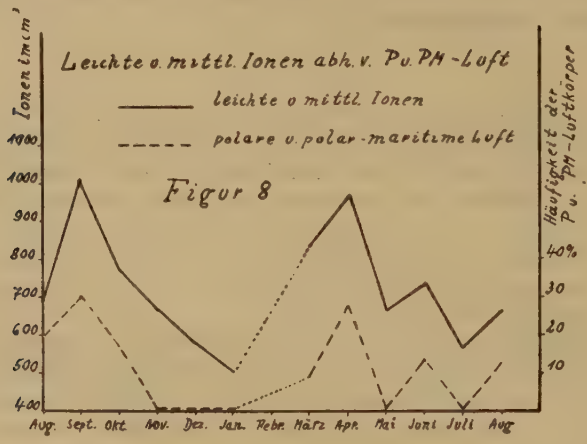
In maritimen Luftmassen (M) beträgt die Summe der positiven leichten und mittleren Ionen durchschnittlich 670, ein Wert, der um etwa 7 % geringer ist als der Jahresmittelwert (720). Fast dieselbe Ionenzahl (660) findet man auch in kontinentaler Luft (C). Während die relativ kleinen Ionenwerte innerhalb der M-Luft auf den hohen Feuchtigkeitsgehalt zurückzuführen sind, den die vom Meere stammenden Luftmassen haben, lassen sie sich bei der C-Luft dadurch erklären, daß die kontinentalen Luftkörper sehr häufig mit Dunst verbunden sind. Noch geringer als in der C- und M-Luft ist anscheinend die mittlere Ionenzahl in tropisch-maritimer (TM) und tropisch-kontinentaler Luft (TC), doch lassen sich wegen der geringen Anzahl der untersuchten Fälle keine genaueren Angaben machen. In polar-kontinentaler Luft (PC), die innerhalb des Beobachtungsjahres aber nur an den letzten Tagen des Januar auftrat, fand ich einen Mittelwert von 510 Ionen, der wieder auf starken Dunst zurückzuführen ist. Ähnliche Werte wie bei der C-Luft ergeben sich auch in indifferenter Luft, weil diese infolge ihres langen Verweilens über Mitteleuropa kontinentalen Charakter annimmt. Der Durchschnittswert für Mischluft (X) entspricht etwa dem Jahresmittel, denn die X-Luft kann sich aus den verschiedensten Luftkörpern zusammensetzen.

Während bei den bisher betrachteten Luftkörpern die Anzahl der leichten und mittleren Ionen im Durchschnitt etwas geringer ist als das Jahresmittel, finden sich in polarer (P) und polar-maritimer Luft (PM) außerordentlich hohe Ionenwerte. Der für die positiven Ionen berechnete Mittelwert von fast 1000 liegt mit rund 35 % über dem Jahresdurchschnitt. Die Erklärung für dieses Ergebnis kann nur darin liegen, daß die aus dem Polargebiet stammenden Luftmassen, die sich durch einen geringen Feuch-

[1]) Lincke u. Dinies, Das Wetter, 1930, S. 1.

tigkeitsgehalt und große Sichtweiten auszeichnen, sehr arm an schweren Kernen sind, sodaß die Lebensdauer der leichter beweglichen Ionen erheblich größer ist als in den andern Luftkörpern.

Aus dem bisher Gesagten geht hervor, daß gerade das mehr oder minder häufige Vorkommen der aus dem hohen Norden stammenden Luftkörper von entscheidendem Einfluß auf den jährlichen Gang der leichten und mittleren Ionen sein muß. In der Figur 8 habe ich daher neben der



Ionenkurve die Häufigkeitskurve der polaren und polar-maritimen Luftkörper dargestellt. (Die Häufigkeitswerte wurden in der gleichen Weise berechnet wie bei Dunst und Nebel, vgl. S. 24/25.) Wie man aus der Figur ersieht, ist der parallele Verlauf der beiden Kurven sehr gut ausgeprägt. Im September und April entsprechen den Ionenmaxima auch die Häufigkeitsmaxima, während im Winter die Häufigkeitskurve ebenso wie die Ionenzahl ihre niedrigsten Werte erreicht. Ganz wie bei den Dunst- und Nebeltagen tritt auch in dieser Häufigkeitskurve das sekundäre Maximum im Juni deutlich in Erscheinung. In wie hohem Maße der jährliche Gang der Ionen von der Häufigkeit der P- und PM-Luft abhängig ist, geht schließlich noch daraus hervor, daß der Korrelationskoeffizient zwischen den in Fig. 8 dargestellten Kurven den Wert von 0,76 annimmt.

4. Windrichtung und -stärke.

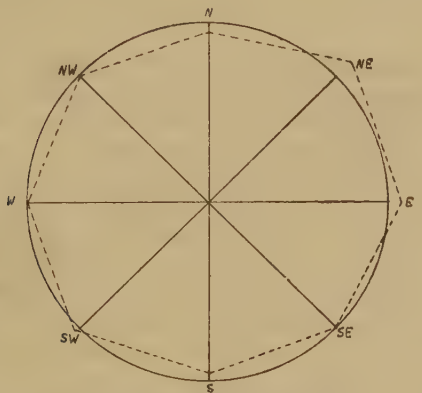
In Tabelle 7, die in Form eines Winddiagramms noch einmal durch Figur 9 dargestellt worden ist, wird die Abhängigkeit der leichten und

Leichte und mittlere Ionen in Abhängigkeit von den Windrichtungen.

Tabelle 7.

Windrichtung:	W	SW	S	SE	E	NE	N	NW
$n_+ + \nu_+$	710	721	671	702	761	790	676	699
Z	82	48	32	57	42	20	33	62

mittleren Ionen von den einzelnen Windrichtungen zum Ausdruck gebracht. Die Berechnung der Ionenmittelwerte für die Windrichtungen geschah in der Weise, daß z. B. aus den bei WSW-, W- und WNW-Winden gemessenen Ionenzahlen der Mittelwert bei W-Wind, aus den bei WNW-, NW- und NNW-Winden der Durchschnittswert bei N-Wind gebildet wurde u.s.f. Die Richtung, aus der zur Zeit einer jeden Meßreihe der Wind kam, stellte ich an Hand der Registrierkurve fest, die der auf dem Turm des Observatoriums aufgestellte Hauptanemograph aufgezeichnet hatte.



Figur 9.

In Figur 9 bedeutet der Kreis den Jahresmittelwert von 720 Ionen im ccm, auf den einzelnen Windrichtungen sind die ihnen zukommenden Ionenzahlen als Längen abgetragen und durch Gerade miteinander verbunden worden, so daß ein unregelmäßiges Vieleck entsteht.

Häufigkeit der Luftkörper bei nördl. Winden (NNW, N, NNE)

Tabelle 8a.

Luftkörper:	P/PM	I/X	M	C
Häufigkeit (%):	12	31	21	36

Häufigkeit der Luftkörper bei südl. Winden (SSW, S, SSE)

Tabelle 8b.

Luftkörper:	TC	TM	I	PM	M	X	C
Häufigkeit (%):	6,5	3,3	6,5	9,7	9,7	19,4	45,0

Man erkennt aus dem Diagramm, daß bei N- und S-Wind die Summe der leichten und mittleren Ionen im Durchschnitt am geringsten ist. Die Erklärung hierfür folgt aus der Betrachtung über die prozentuale Verteilung der einzelnen Luftkörper auf diese beiden Windrichtungen, wie sie in den Tabellen 8a und 8b gegeben ist. Man sieht, daß der geringe Ionenwert bei

N-Wind auf das häufige Vorkommen von maritimen und kontinentalen Luftmassen zurückzuführen ist, während die kleine Zahl der Ionen bei S-Wind sich aus dem Überwiegen der C-Luft allein erklären läßt. Dazu kommt noch die bemerkenswerte Tatsache, daß gerade die mit südlichen Winden (S und SSE) verbundenen Luftkörper außerordentlich häufig Dunst mit sich bringen.

Häufigkeit der Luftkörper bei NNE-, NE-, ENE-, E- u. ESE-Winden.

Tabelle 8c.

Luftkörper:	P	PM	I	C	X	PC	TC	M
Häufigkeit (%):	5	2	18	52	7	9	2	5

Obwohl nach Tabelle 8c bei E- und NE-Winden meistens Luftmassen kontinentalen Ursprungs zu uns dringen, liegen dennoch die diesen beiden Windrichtungen zukommenden Ionenmittelwerte über dem Jahresdurchschnitt. Dieses Ergebnis kann nur als eine Wirkung der im NE und E von Potsdam gelegenen Stadt Berlin angesehen werden. Die von der Großstadt kommenden Luftmassen sind so reich an mittleren und vor allem an schwerbeweglichen Kernen (Staub- und Rauchteilchen), daß die Zahl der stets vom Kondensator mitgemessenen Schwerionen (nach der Formel: $N \cdot k/kg$; N bedeutet die Anzahl der Schwerionen, kg ihre mittlere Beweglichkeit, k ist die im Kondensator herrschende Grenzbeweglichkeit) sehr groß wird. Dagegen tritt der Einfluß der im Norden des Beobachtungsortes gelegenen Stadt Potsdam völlig zurück.

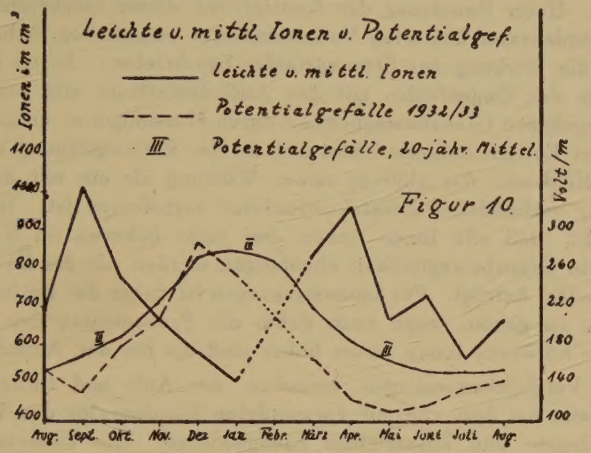
Daß bei westlichen Windrichtungen die Ionenzahlen etwas höher sind als bei N- und S-Wind, ist zunächst auf die P- und PM-Luft zurückzuführen, dann aber auch darauf, daß die fast immer aus Westen kommenden maritimen Luftkörper durchschnittlich doch etwas mehr leichte und mittlere Ionen mit sich bringen als die von Norden oder Süden her kommende Festlandsluft, bei der eine Wirkung Berlins nicht vorhanden ist.

Einen geringen Einfluß auf die Zahl der leichten und mittleren Ionen übt auch die Windstärke aus. Bei Windstärken kleiner oder gleich vier (Beaufort) ergab sich für die positiven Ionen ein Mittelwert von 695, bei Windstärken größer als 4 ein solcher von 750. Entsprechendes gilt für die negativen Träger.

e) Leichte und mittlere Ionen und Potentialgefälle.

Bei der Betrachtung des Zusammenhanges zwischen den Ionen höherer und mittlerer Beweglichkeiten und dem Potentialgefälle muß man sich stets vor Augen halten, daß, abgesehen von anderen Ursachen, die Schwankungen des Potentialgefälles eine Folge des wechselnden Ionengehaltes sind und dieser nicht durch die Änderungen des luftelektrischen Feldes bedingt wird. Bekanntlich verlaufen die Kurven des Spannungsgefälles und der Leitfähigkeit spiegelbildlich zueinander. Nun ist die Leitfähigkeit ihrerseits eine Funktion der Ionenzahl und der -beweglichkeiten: bei großem Ionengehalt steigt die Leitfähigkeit der Luft ebenso wie bei hohen Beweglichkeiten und umgekehrt. Wenn auch die Zahl der Schwerionen die der leichteren Träger

im allgemeinen um ein Vielfaches übertrifft, so ist doch ihr Anteil an der Leitfähigkeit wegen ihrer geringen Beweglichkeit nicht sehr groß, während die leichteren Träger trotz ihrer verhältnismäßig kleinen Anzahl gerade wegen ihrer hohen Beweglichkeit den Hauptanteil an der Leitfähigkeit liefern. Aus dem eben Gesagten geht hervor, daß im allgemeinen die Schwankungen des Potentialgefälles denen des Ionengehaltes der Luft entgegengesetzt sein müssen.



Inwieweit nun die beiden Kurven einen inversen Verlauf zeigen, geht aus Figur 10 hervor. Zur Berechnung des jährlichen Ganges des Spannungsgefälles verwendete ich die Angaben eines registrierenden Benndorfelektrometers, das auf dem Turm des Observatoriums aufgestellt ist. Benutzt wurden nur die Werte, die das Instrument zur Zeit der Ionenmessungen aufzeichnete. Trotz der relativ geringen Zahl der Einzelwerte kommt schon der charakteristische jährliche Verlauf des Potentialgefälles in Potsdam zum Ausdruck, wie ein Vergleich mit der Kurve III lehrt, die das 20-jährige (1904—1923)[1]) Mittel für Potsdam darstellt.

Dem Ionenmaximum im September entspricht ein allerdings sekundäres Minimum des luftelektrischen Feldes, das im 20-jährigen Mittel nicht in Erscheinung tritt. In den Wintermonaten haben wir bei kleinen Ionenwerten ein hohes Spannungsgefälle, das seinen Höchstwert aber schon im November erreicht. Während das Ansteigen der Ionenzahlen vom Januar bis zum April auch ein Sinken des Potentialgefälles zur Folge hat, sind in den Sommermonaten die Zusammenhänge fast ganz verwischt.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die Schwankungen des luftelektrischen Feldes nur zum Teil auf den jährlichen Gang der leichten und mittleren Ionen zurückzuführen ist, daß daneben noch andere Ursachen wirksam sein müssen.

[1]) K. Kähler, Einführung in die atm. Elektr. Berlin, Borntraeger, 1929, S. 139.

Zusammenfassung.

Im ersten Teil der Arbeit habe ich gezeigt, daß bei Verwendung der Auflademethode am Kondensatorrande ein elektrisches Störungsfeld vorhanden ist. Unter Benutzung des Kunstgriffes, dieses Gegenfeld als einen vom Meßkondensator isolierten Vorkondensator aufzufassen, habe ich dann eingehend die Wirkung des Störungsfeldes beschrieben. Es ist nicht möglich, infolge des Gegenfeldes mit der Auflademethode alle Ionen bis zu einer vorgegebenen Grenzbeweglichkeit durch Messungen zu erfassen. Aber auch bei der Entlademethode bildet sich an der Einsaugöffnung ein elektrisches Randfeld aus, das aber in seiner Wirkung als ein mit dem Hauptkondensator verbundener Zusatzkondensator aufzufassen ist. Das Zusatzfeld bewirkt, daß alle Ionen schon bei einer höheren im Kondensator herrschenden Grenzbeweglichkeit abgefangen werden, als die Beweglichkeit der Ionen selbst beträgt. Für Ionenmessungen ist daher der Entlademethode der Vorzug zu geben, wenn auch dabei die Prozentsätze der stets mitgemessenen schweren Ionen etwas höher sind als bei der Auflademethode.

Durch Vergleichsmessungen zwischen der Auf- und Entlademethode habe ich dann bei dem von mir verwendeten Kondensator das Vorhandensein des Gegen- und Zusatzfeldes nachgewiesen. Die Unterschiede, die hinsichtlich der Meßergebnisse sich zwischen den beiden Methoden ergeben, waren beträchtlich. Die Existenz des Gegenfeldes allein zeigte ich dann weiter dadurch, daß ich einen künstlichen Ionenspender über die Einsaugöffnung hängte, dessen Leichtionen bei wachsender Außenspannung in immer höherem Maße an ihrem Eintritt in den Kondensator gehindert wurden.

Im zweiten Hauptteil beschrieb ich zunächst einige Verbesserungen an der Apparatur, um dann ausführlich auf die Schaltung der Entlademethode einzugehen. Dabei wurde der Benndorfsche Vorschlag benutzt, bei dem zur Erreichung einer hohen Empfindlichkeit das ganze Elektrometergehäuse auf das Potential der Innenelektrode und des Fadens gebracht wurde. Die Meßerfahrungen zeigten, daß die Benndorfsche Entlademethode besonders zur Messung der leichten und mittleren Ionen geeignet ist, weniger für die Schwerionen.

Im dritten Hauptteil brachte ich die Meßergebnisse. An Hand der Monatsmittel wurde gezeigt, daß die Summe der leichten und mittleren Ionen in ihrem jährlichen Verlauf einer doppelten Schwankung unterliegt. Die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen den meteorologischen Elementen und den leichten und mittleren Ionen zeitigte folgende Ergebnisse: 1. bei zunehmender relativer Feuchtigkeit vermindert sich die Zahl der leichten und mittleren Ionen; 2. durch Dunst und Nebel wird ebenfalls ihre Anzahl verringert; 3. polare und polar-maritime Luftmassen sind außerordentlich reich an Ionen höherer und mittlerer Beweglichkeit, während die

übrigen Luftkörper Ionenzahlen aufweisen, die etwas unterhalb des Jahresmittels liegen. Von dem mehr oder minder häufigen Vorkommen des Dunstes und Nebels sowie der aus dem Polargebiet stammenden Luftmassen und von der relativen Feuchtigkeit hängt in der Hauptsache auch der jährliche Gang der leichten und mittleren Ionen ab. Zum Schluß ging ich auf die Beziehungen zwischen Potentialgefälle und den Ionen ein und stellte fest, daß das luftelektrische Feld nur zum Teil von den leichten und mittleren Ionen abhängig ist.

Die vorliegende Arbeit wurde im luftelektrischen Laboratorium des meteorologischen Observatoriums Potsdam ausgeführt. Herrn Professor Dr. Kähler, der mir die Anregung zu dieser Arbeit gab und mir manchen Ratschlag erteilte, möchte ich an dieser Stelle meinen Dank abstatten.

Lebenslauf.

Als Sohn des Gerichtsobersekretärs Carl Sichtermann und seiner Ehefrau Marie, geb. Beck, wurde ich am 3. Januar 1908 in Samter (ehem. Prov. Posen) geboren. Dort besuchte ich zunächst drei Jahre lang die Volksschule, dann zweieinhalb Jahre lang die Landwirtschaftsschule. Diese mußte ich im Herbst 1919 verlassen, da sie in ein polnisches Gymnasium umgewandelt wurde. Im Jahre 1920 wurde mein Vater nach Dt. Krone (Grenzmark) versetzt, wo ich in die Quinta des humanistischen Gymnasiums aufgenommen wurde. Im Frühjahr 1928 bestand ich die Reifeprüfung, um dann die Universität Berlin zu beziehen. Dort studierte ich Meteorologie, Ozeanographie, Physik, Geographie, Mathematik und Philosophie. Seit dem Frühjahr 1931 widmete ich mich am meteorologischen Observatorium in Potsdam unter Herrn Prof. Kählers Leitung hauptsächlich luftelektrischen Untersuchungen. Im Sommersemester 1935 bestand ich meine Doktorprüfung.